

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Vyhodnotenie vlhkosti na mezi plasticity zemin s využitím kuželovej skúšky

Assessment of the Moisture at Plastic Limit of Soil Using Fall Cone test

Študent :

Tomáš Blaško

Vedúci bakalárskej práce :

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Phd.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Blaško**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika
Téma: **Vyhodnocení vlhkosti na mezi plasticity zemin s využitím kuželové zkoušky**
Assessment of the Moisture at Plastic Limit of Soil Using Fall Cone test

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod, charakteristika konzistenčních mezí zemin
2. Standardní normový přístup ke stanovení vlhkosti na mezi plasticity
3. Alternativní možnosti stanovení vlhkosti na mezi plasticity, řešení, základní princip
4. Vlastní srovnávací analýza výsledků meze plasticity dle standardního a alternativního přístupu pro různé typy zemin
5. Závěr, zhodnocení výsledků a doporučení

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hulla, J., Turček, P. *Zakladanie stavieb*. Jaga: Bratislava, 1998. ISBN 80-88905-05-2.
2. Šimek J. a kol. *Mechanika zemin*. SNTL Praha, 1990.
3. ČSN 72 1012 *Laboratorní stanovení vlhkosti zemin*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
4. ČSN CEN ISO/TS 17892 – 12 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
5. Shimobe, S. Determination of Index Properties and Undrained Shear Strength of Soils Using the Fall Cone Test. In *Proceeding of 7th International Symposium of LowLand Technology, 2010*. Saga, Japan, p. 16-18.
6. Sivakumar, V. et al. A new method of measuring plastic limit of fine materials. *Geotechnique* 61, No. 1, 2011, p. 88–92. [doi: 10.1680/geot.2011.61.1.88].

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 04.05.2018

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu vrátane príloh vypracoval sám pod vedením vedúceho bakalárskej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave

.....

Podpis študenta

Prehlasujem:

- Bol som zoznamovaný s tým , že na moju bakalársku prácu sa vzťahuje zákon č. 121/2000Sb. – autorský zákon, § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitie diela školského § 60 – školské dielo.
- Beriem na vedomie , Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (VŠB-TUO) má právo nezárobkovo ku svojim vnútorným potrebám bakalársku prácu použiť (§ 35 odst. 3).
- Súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci budu zverejnené v informačnom systéme VŠB – TUO.
- Bolo zjednané, že s VŠB – TUO, v prípade záujmu z ich strany, uzatvorím licenčnú zmlúvu s oprávnením použitia diela v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bolo zjednané, že použiť svoje dielo – bakalársku prácu, poskytnúť licenciu k inému využitiu môžem len so súhlasom VŠB – TUO, ktorá je oprávnená v takom prípade odomňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB – TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- Beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok ich obhajoby.

V Ostrave

Anotácia

Táto bakalárska práca sa zameriava predovšetkým na vyhodnotenie vlhkosti na medzi plasticity štandardným spôsobom metódou tzv. valkania valčekov a alternatívnym spôsobom pomocou Vasiljevho kužeľa. Práca je rozdelená na dve časti, teoretickú a praktickú. V teoretickej časti sa obecné zamerávam na charakteristiku konzistenčných medzi pre súdržné zeminy. Určenie vlhkosti na medzi tekutosti štandardne podľa normy a alternatívne podľa zahraničných štúdií pomocou Vasiljevho kužeľa. V praktickej časti sa nachádza vyhodnotenie vlastných laboratórnych skúšok a zrovnávací analýza výsledkov medze plasticity podľa alternatívneho a štandardného prístupu.

Annotation

This bachelor thesis focuses on determination of moisture plastics limit according to the standard method thread rolling and the alternative approach determining using fall-cone test (Vasiljev cone). The thesis is divided into two parts, theoretical and practical. In the theoretical part, they generally focus on the consistency characteristics between cohesive soils. Determination of moisture according to standard and alternative according to foreign studies using Vasiliev cone. In the practical part there is an evaluation of own laboratory tests and a comparative analysis of plasticity results according to the alternative and standard approach.

Kľúčové slová:

Vlhkosť, medz plasticity, metóda valkania valčekov, kužeľová skúška (Vasiljevov kužeľ), konzistenčné medze, súdržné zeminy, analýza.

Key words:

Water content, plastic limit, method thread rolling, fall-cone test (Vasiljev cone), consistency limits, cohesive soils, analysis.

Zoznam použitého značenia

označenie	význam	jednotka
w	Vlhkosť zeminy	[%]
w _L	Vlhkosť zeminy na mezi tekutost	[%]
w _p	Vlhkosť zeminy na mezi plasticity	[%]
w _s	Vlhkosť zeminy na mezi zmrštenia	[%]
I _c	Index konzistencie	[-]
I _L	Index tekutosti	[-]
I _p	Index plasticity	[-]
ρ _s	Merná hmotnosť zeminy	[g/cm ³]
ρ _v	Merná hmotnosť vody	[g/cm ³]
Cu	Neodvodnená šmyková pevnosť zeminy	[kPa]

Obsah

1. Úvod	8
2. Definícia konzistenčných mezí zemin	8
2.1. Konzistenčné stavy zemín	8
2.2. Charakteristika konzistenčných mezí zeminy	9
3. Klasifikácia zeminy	13
3.1. Stanovenie zrnitosti zemín , mokrá presievacia skúška	14
3.2. Hustomerná skúška	15
3.3. Pyknometrická skúška	21
4. Štandardný normový prístup stanovenia meze plasticity	23
5. Alternatívne stanovenie meze plasticity pomocou Vasiljevho kužela	26
6. Vlastné laboratórne skúšky meze tekutosti a meze plasticity	30
7. Zrovnávací analýza výsledkov meze plasticity	36
8. Záver	39
9. Zoznam použitých zdrojov	41

1. Úvod

Vlhkosť na medzi plasticity súdržných zemín sa štandardne podľa súčasnej platnej normy určuje pomocou metódy šúľania valčekov avšak táto metóda je veľmi subjektívna, závisí na zručnosti a skúsenostiach laboranta. Preto bola vyvinutá nová alternatívna metóda určovania medze plasticity pomocou kužeľovej skúšky (Vasiljevovým kužeľom), o tomto spôsobe určovanie medze plasticity sa zmieňuje Sivakumar v článku „A new method of measuring plastic limit of fine materials“ s ktorého som čerpal informácie. V tejto práci sú spracované výsledky z troch rôznych typov súdržných zemín, ktoré boli odobraté na Slovensku z oblasti Súľovských skál. Účelom práce je vyhodnotiť štandardný normový prístup a alternatívny prístup určenia medze plasticity. Výsledkom je porovnávacia analýza medze plasticity metódou valkania valčekov a kužeľovou skúškou (Vasiljevovým kužeľom).

2. Definícia konzistenčných medzí zemín

2.1. Konzistenčné stavy zemín

Konzistenčné stavy zemín popisujú vplyv kvapalnej fázy na vlastnosti súdržných (jemnozrnných) zemín. Vlhkosť a plasticita sú v tomto prípade veľmi dôležité parametre, ktoré výrazne ovplyvňujú mechanické vlastnosti jemnozrnných zemín. Keď má zemina kašovitú konzistenciu je tekutá tým pádom nemá žiadnu pevnosť a nie je schopná prenášať žiadne zaťaženie. Paradoxne rovnaká zemina s malou vlhkosťou, ktorá má tvrdú konzistenciu a teda je vysoko pevná je schopná prenášať pomerne veľké zaťaženie.

Súdržné zeminy sú zmesou ílových, prachových a často aj piesčitých zrn. V prírode môžu obsahovať viazanú alebo voľnú vodu. Množstvo viazanej vody narastá v zemine s podielom a typom ílovitého materiálu a výmenných kationtov. Fyzikálny stav súdržnej zeminy, závislý na vlhkosti, je tzv. konzistencia alebo konzistenčný stav.

Rozoznávame tvrdý, pevný, plastický a kašovitý (tekutý) konzistenčný stav. Plastický stav rozdeľujeme ďalej na tuho plastický a mätko plastický (niekedy na tuho plastický, mätko plastický a kašovito plastický). V poľných podmienkach určíme konzistenčný stav jednoduchými skúškami (viz [1]).

- ❖ *Tvrdá zemina je suchá, má svetlú farbu, chová sa ako pevné teleso, ktoré môžeme rozbíjať na ostré kusy.*
- ❖ *Pevná zemina má nízku vlhkosť, tmavšie zafarbenie, hrudky nie sú ostrohnarnné, zemina je drobivá, nejde s nej vyvalkať valčeky o priemere 3 mm.*
- ❖ *Tuho plastická zemina sa ťažko hnietit, ale ide s nej vyvalkať valčeky o priemere 3mm.*
- ❖ *Mätko plastickú zeminu môžeme ľahko hŕiesiť.*
- ❖ *Kašovito plastická zemina sa pri zovretí v päst' pretlačí pomedzi prsty.*
- ❖ *Kašovitá alebo tekutá zemina stráca pevnosť, chová sa ako hustá, viskozitná tekutina.*

Konzistencia súdržných zemín ovplyvňuje ich stlačiteľnosť a pevnosť, rozhoduje o vhodnosti zeminy ako o základovej pôde pre plošné a pilotové základy (viz [1]).

2.2.Charakteristika konzistenčných mezí zeminy

Prechod z jedného konzistenčného stavu do iného nastáva v určitej konkrétnej súdržnej zemine vždy za rovnakých charakteristických vlhkostí, ktoré označujeme ako medze konzistencie. Podľa nórskeho keramického odborníka Atterberga, ktorý ich prvý použil pre charakterizovanie zemín, preto ich označujeme ako Atterbergové medze (viz [1]).

Rozoznávame tieto konzistenčné medze:

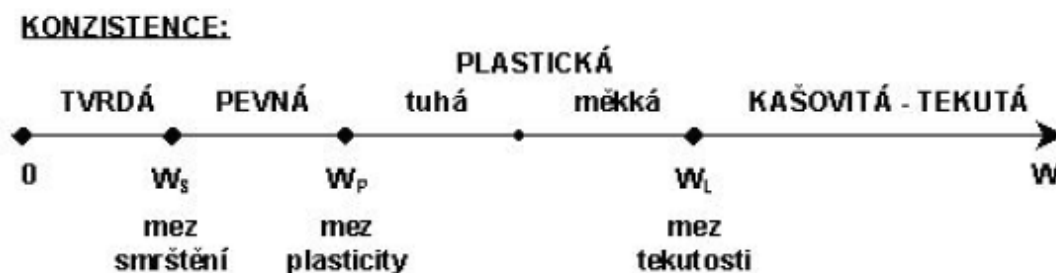
- ❖ Medz zmrštenie w_s (prechod medzi tvrdým a pevným konzistenčným stavom);
- ❖ Medz plasticity w_p (prechod medzi pevným a plastickým konzistenčným stavom);
- ❖ Medz tekutosti w_L (prechod medzi plastickým a tekutým konzistenčným stavom).

*Hranicou medzi tvrdým a pevným konzistenčným stavom tvorí tzv. **medz zmršťovania** w_s , ktorá odpovedá vlhkosti, pri ktorej postupne vysušovaná zemina prestáva znižovať svoj objem alebo dĺžkový rozmer.*

*Prechod z pevného do plastického stavu udáva **medz plasticity** w_p , definovaná ako vlhkosť, pri ktorej sa zemina vyvalkaná na valčeky o priemere 3 mm začína rozpadávať na kusy dlhé približne 10 mm. Jednoduchšie povedané vlhkosť, pri ktorej je zemina natoľko vysušená, že stráca svoju plasticitu.*

Medz tekutosti w_L je definovaná ako vlhkosť, pri ktorej nastáva prechod z mätko plastického do tekutého (kašovitého) stavu. Určuje sa pomocou Casagrandeho prístroja alebo Vasiljevovým kužeľom (viz [1]).

Súhrnne ide jednotlivé konzistencie vo vzťahu ku konzistenčným medziam zobrazit' pomocou vlhkostnej osy.



Obrázok 1 - Zobrazenie konzistencie súdržných zemín na vlhkostnej ose [1]

Nachádza sa konkrétna vlhkosť v rozsahu vlhkosti na medzi tekutosti a plasticity, zemina vykazuje plastické chovanie. Zemina v tomto stave vykazuje určitú šmykovú pevnosť, po jej prekročení sa začne plasticky pretvárať, zväčšuje svoje pretvorenie, aj napriek tomu že šmykové napätie nerastie.

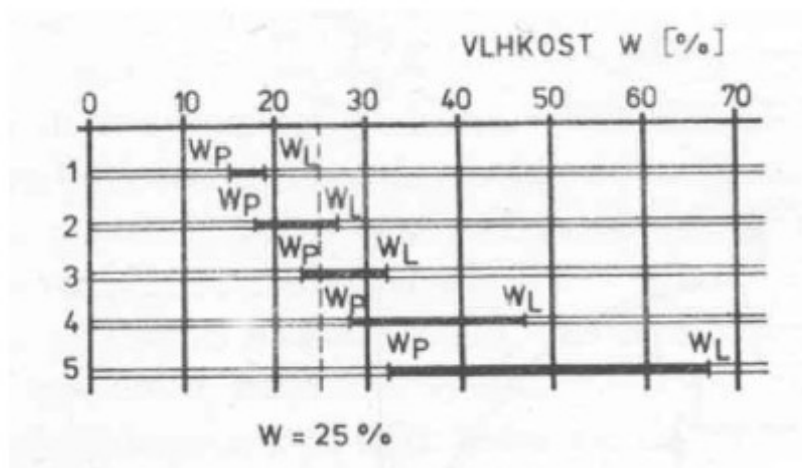
Pri zvýšení vlhkosti nad medz tekutosti w_L sa chovanie zeminy mení a jej stav sa označuje ako kašovitý až tekutý. Zemina v tomto stave kladie minimálny alebo nulový odpor proti šmykovému pretvoreniu. Pri zovretí sa taká zemina pretlačuje pomedzi prsty. Naopak pri znížení vlhkosti pod medz plasticity začína nadobúdať charakter látky ktorá je krehká, alebo sa pri pretvorení poruší. Tento stav je označovaný ako pevný, zemina je zvlhnutá, má sýtu farbu a pri pokuse vyvalkať z nej valček o priemere 3 mm sa valček drobí. Skutočne krehkého chovania zeminy je dosiahnuté až ďalším znížením vlhkosti pod medz zmrštenia w_s do stavu tvrdého, tj. vtedy, ak je vlhkosť zeminy tak malá, že sa voda sťahuje kapilárnymi a absorpčnými silami dovnútra, farba je svetlá a zeminu ide lámať a rozbiť na ostro hranné kúsky.

Stav súdržných zemín sa vyjadruje vzájomným porovnaním konkrétnej vlhkosti zeminy w s vlhkostnými (konzistenčnými) medzami, vlhkosť na medzi tekutosti w_L a vlhkosť na medzi plasticity w_P . Najčastejšie sa stav súdržných zemín vyjadruje pomocou indexu (číslo) konzistencie.

Na základe hodnoty medze tekutosti a hodnôt ďalších konzistenčných medzí sa určujú dôležité geotechnické vlastnosti súdržných zemín, ako napríklad :

- ❖ Index plasticity – I_p (číslo plasticity)
- ❖ Index konzistencie - I_c
- ❖ Index tekutosti - I_L

Číslo plasticity vyjadruje v percentách rozsah vlhkosti, v ktorej je zemina plastická. Čím väčší je špecifický povrch zeminy, čím viac a čím aktívnejšie ílové minerály a výmenné kationty zemina obsahuje, tým väčšia je jej schopnosť viazať a udržať vodu a tým väčšie je jej číslo plasticity. Index plasticity je taktiež rozhodujúce pri posudzovaní rýchlosti konsolidácie danej zeminy. Zeminy s nižším indexom plasticity konsolidujú rýchlejšie. Atterberg využil číslo plasticity k približnej klasifikácii zemín (viz. Obrázok 2.)



Obrázok 2 - Plstická oblasť rôznych zemín [1]

Legenda: 1 - piesčitá hlina; 2,3 - prachovité hlíny; 4 - ílovitá hlina; 5 - íl

Na obrázku 2 je vyznačený rozsah plastickej oblasti rôznych súdržných zemín. Z obrázku 2 vyplýva, že číslo plasticity I_p ani absolútna hodnota vlhkosti nás neinformuje o konzistenčnom stave zeminy. Napríklad pri vlhkosti $w=25\%$ je prvá zemina v kašovitom stave, druhá je mätko plastická, tretia tuho plastická, štvrtá pevná, piata pevná alebo tvrdá.

Vzorec pre výpočet indexu (číslo) plasticity:

$$I_p = w_L - w_p \quad (1)$$

Stav súdržných zemín sa vyjadruje vzájomným porovnaním konkrétnej vlhkosti zeminy w s vlhkostnými (konzistenčnými) medzami, vlhkosť na medzi tekutosti w_L a vlhkosť na medzi plasticity w_p . Najčastejšie sa stav súdržných zemín vyjadruje pomocou indexu (číslo) konzistencie I_c

Vzorec pre výpočet indexu (číslo) konzistencie:

$$I_c = \frac{w_L - w}{w_L - w_p} = \frac{w_L - w}{I_p} \quad (2)$$

Pomocou indexu konzistencie rozlišujeme konzistenčný stav zeminy na tvrdý, tuhý mäkký a tekutý. Hodnoty indexu sa pohybujú v rozmedzí 1 - 0,5 viz. (viz [2]) tabuľka 1.

I_c:	Konzistencia
> 1	pevná - tvrdá
1,0 - 0,5	plastická tuhá
0,5 - 0,05	plastická mäkká
< 0,05	kašovita - tekutá

Tabuľka 1 - stupeň konzistencie zemín [1]

Stav súdržných zemín ide určiť taktiež pomocou indexu tekutosti I_L

Vzorec pre výpočet indexu (číslo) tekutosti:

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} \quad (3)$$

$$I_c + I_L = 1 \quad (4)$$

Stanovenie konzistenčných medzí je teda z hľadiska stavebnej praxe veľmi dôležitá charakteristika, ktorá vyžaduje podrobný výskum.

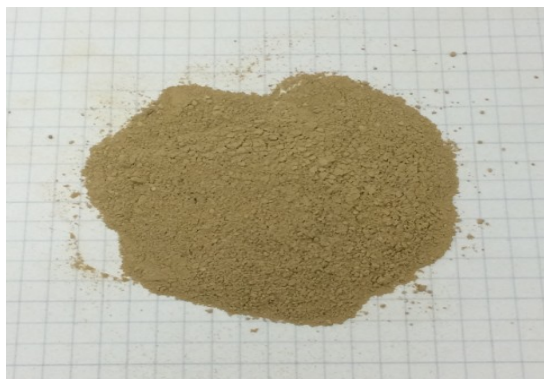
3. Klasifikácia zeminy

Stručná charakteristika testovaných vzoriek zeminy

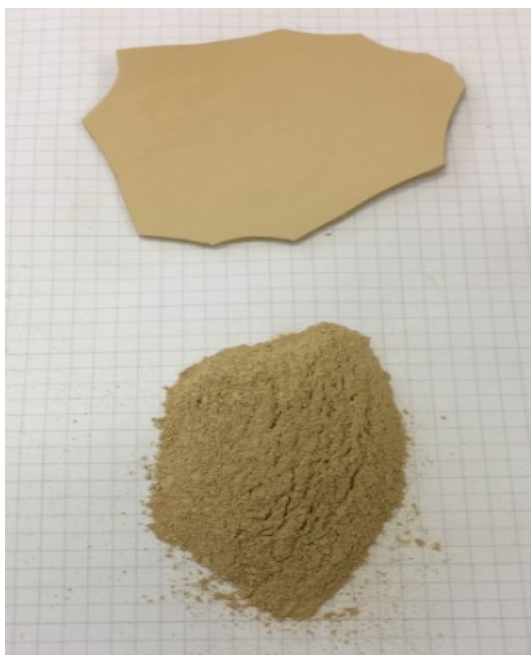
Vzorky zeminy, ktoré boli použité v práci pochádzajú zo Slovenskej Republiky, konkrétne z oblastí Súľovských skál. Oblasť ma charakter výrazne členitého reliéfu. Horninovým základom Súľovských skál je zväčša tret'ohorný karbonátový zlepenec. Podložie tvoria staršie druhohorné dolomity a slienito-bridličnaté súvrstvia. Vzorky zeminy som odobral vlastnoručne z 3 rôznych miest vzdialených od seba približne 1,5km a hĺbky cca 1,5m od povrchu terénu. Na vzorkách boli prevedené nasledujúce skúšky: mokrá presievacia skúška, pyknometrická skúška, hustomerná skúška, stanovenie vlhkosti na medzi plasticity štandardným spôsobom tzv. metódou val'kania valčekov a stanovenie vlhkosti na medzi tekutosti Vasiljevovým kužeľom, pomocou ktorého sme alternatívne vyhodnotili medz plasticity. Všetky laboratórne skúšky boli uskutočnené v laboratórií mechaniky zemín Fakulty stavebnej v Ostrave.



Obrázok 3 - Skúmaná vzorka zeminy č.1 (Foto autor)



Obrázok 4 - Skúmaná vzorka zeminy č.2 (Foto autor)



Obrázok 5 - Skúmaná vzorka zeminy č.3 (Foto autor)

3.1.Stanovenie zrnitosti zemín , mokrá presievacia skúška

ČSN CEN ISO/TS 17892 - 4

Geotechnický prieskum a skúšanie - Laboratórne skúšky zemín-

Časť 4: Stanovenie zrnitosti zemín

Pre zeminy s obsahom viacej ako 10% jemnej frakcie musí byť použitá mokrá presievacia metóda, ktorá je oproti suchej presnejšia v dôsledku rozpustenia všetkých častíc zeminy v destilovanej vode. Pri suchej metóde môže dôjsť k tomu , že zrná zeminy nerozdrvíme na pôvodu veľkosť , alebo naopak že ich rozdrvíme až príliš a to vedie k zásadným chybám pri klasifikácii zeminy.

Potrebné zariadenie na vykonanie skúšky:

1. Sadá sít + podsitná miska
2. Laboratórna váha
4. Zariadenie pre stanovenie vlhkosti podľa CEN ISO/TS 17892 - 1
5. Nádobu na miešanie
6. Destilovaná voda
7. Váženky

Postup skúšky:

1. Vzorka (pre ílovité zeminy približne 100-120g) necháme rozpustiť na 24 hodín v destilovanej vode. Po 24 hodinách zeminu premiešame pomocou špachtličky a všetky hrudky alebo väčšie časti rozmiešame.
2. Sitá cez ktoré budeme vzorka zeminy liať zväžíme (ja som použil sitá 1;0,5;0,25;0,125;0,063mm).
3. Pripravený vzorka zeminy prepasírujeme cez sitá. Sitá a podsitnú misku následne vložíme do sušičky na 24 hodín.
4. Po vysušení sitá a podsitnú misku opäť zväžíme a výsledne hmotnosti zaznamenáme.
5. Výsledkom mokrej presievacej skúšky je krivka zrnitosti, pomocou ktorej klasifikujeme zeminu.



Obrázok 5 - Pripravená vzorka zeminy a sitá s podsitnou miskou na mokrú presievaciu skúšku (Foto autor)

3.2. Hustomerná skúška

Pre vykreslenie úplnej krivky zrnitosti som musel vykonať aj hustomernú skúšku. Túto skúšku som prevádzkal na zemine, ktorá nám prepadla sitom (0,063mm.), čiže výsledkom skúšky je grafické vyhodnotenie na krivke zrnitosti v intervale od $<0,001 - 0,063>$ (mm) veľkosti zrn. Hustomer musí byť dútnikového tvaru, pokiaľ možno bez viditeľných väd. Hrdlo a banka hustomeru musí byť v priečnom reze kruhového tvaru a symetrické okolo hlavy osy.

Potrebné zariadenie na vykonanie skúšky:

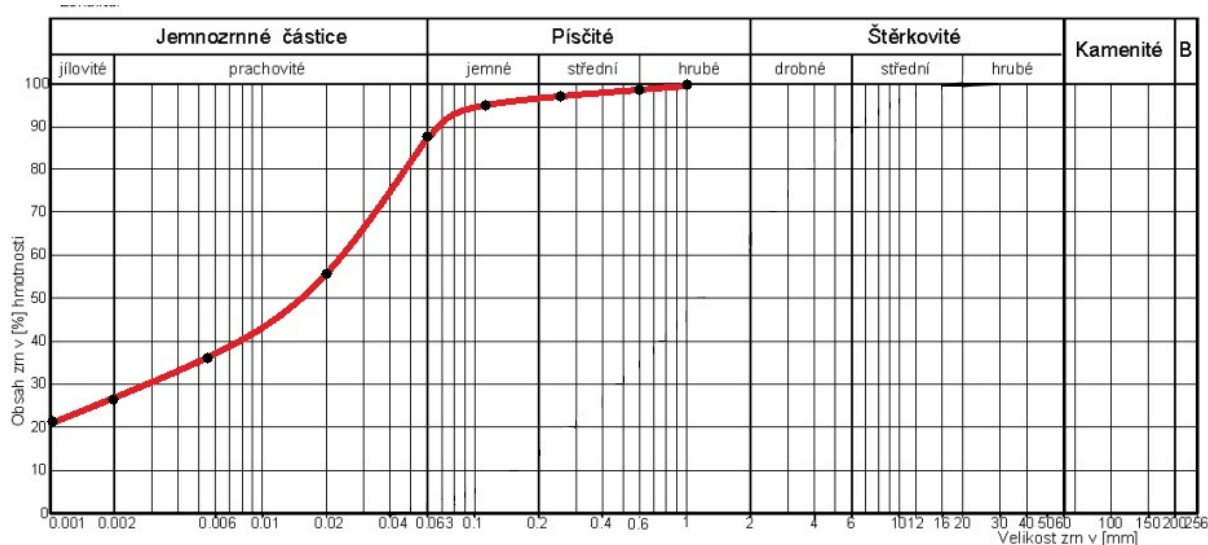
1. Sklenené odmerné valce
2. Hustomer
4. Teplomer
5. Vodný roztok
6. Mechanické miešadlo alebo mixér
7. Stopky
8. Vodné sklo
9. Laboratórna váha

Postup skúšky:

1. Kalibrácia, hustomer musíme zvážiť s presnosťou 0,1g. Objem hustomeru určíme pomocou odmerného valca, do ktorého ponoríme hustomer. Na odmernom valci zmeriame vzdialenosť od značky stupnice 100 ml po značku 1 000 ml. Na hustomeri zmeriame vzdialenosť najnižšej kalibračnej značky ku každej inej hlavnej kalibračnej značke $R_h(di)$. Ďalej zmeriame vzdialenosť od krku banky po najnižšiu kalibračnú značku (N).
2. Na skúšku použijeme rozdruženú zeminu, ktorú sme zachytili na podsitnej miske ($<0,063\text{mm}$).
3. Do vzorky zeminy sa musí pridať približne 100ml dispergačného roztoku. Zmes sa musí premiešavať tak dlho, pokiaľ všetká zemina nevytvorí suspenziu. Pomocou vysokootáčkových mixérov alebo vibračných miešačov.
4. Suspenziu premiestnime do odmerného valca. Valec doplníme vodou a vodným sklom (primerane) na značku stupnice 1liter. Suspenziu necháme ustáť po dobu 12 hodín.
5. Suspenziu musíme následne intenzívne premiešavať, pokiaľ nie je dosiahnuté dokonalé premiešanie, napríklad pretáčaním odmerného valca o 360° zhruba 60 krát za 2 minúty.
6. Valec musíme umierniť na také miesto o ktorom vieme, že nám neovplyvní výsledok merania a na stopkách odštartujeme meranie času. Hustomer ponoríme do suspenzie tak, aby sa voľne vznášal.

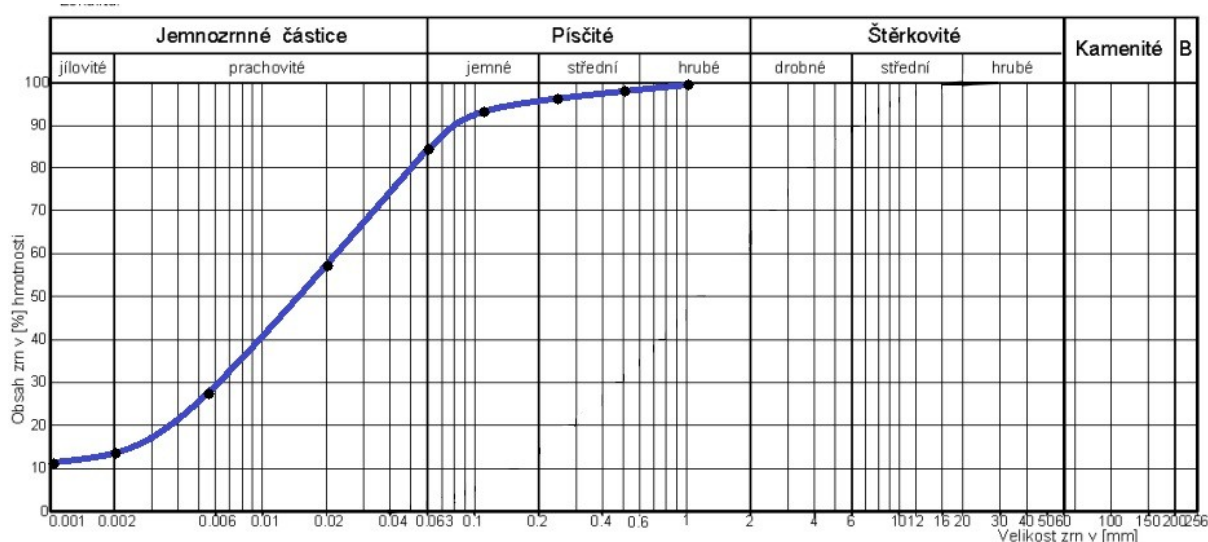
7. V intervaloch napr. (0,5min ; 1min ; 2min ; 4min ; 8min ; 15min ; 30min ; 60min ; 120min ; 240min ; 960min ; 1440min.) musí byť prevedené čítanie na hustomeri R'_h na hornom okraji menisku s presnosťou na najbližší 0,001 g/ml.
8. Hustomer musíme ponoriť do suspenzie zeminy vo vhodný časový interval, zhruba 15 sekúnd pre stanoveným čítania. teplota suspenzie musí byť zmeraná v priebehu prvých 15 minút a potom pri každom čítaní s presnosťou na 0,5°C.

- **Vyhodnotenie zrnitosti zemín:**



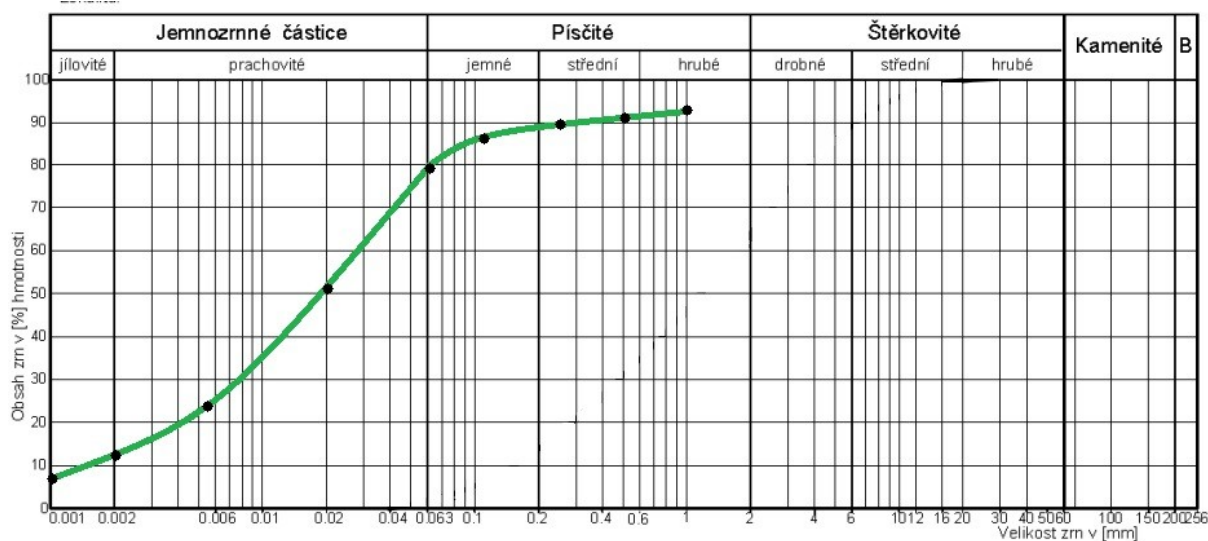
Graf 1 - Krivka zrnitosti vzorky č.1

Graf 1 zobrazuje krivku zrnitosti podľa ktorej sme zatriedili zeminu. Vzorka obsahuje **11,33%** piesku (s) a **88,67%** jemnozrnej frakcie (<0,063mm). Z hustomernej skúšky sme zistili, že obsah prachovitej frakcie (0,063-0,002 mm) je **63,67%** a obsah ílovitých častíc (<0,002 mm) je **25%**.



Graf 2 - Krivka zrnitosti vzorky č.2

Graf 2 zobrazuje krivku zrnitosti podľa ktorej sme zatriedili zeminu. Vzorka obsahuje **15,2%** piesku (s) a **84,8%** jemnozrnnej frakcie ($<0,063\text{mm}$). Z hustomernej skúšky sme zistili, že obsah prachovitej frakcie ($0,063\text{-}0,002\text{ mm}$) je **71,8%** a obsah ílovitých častíc ($<0,002\text{ mm}$) je **13%**.



Graf 3 - Krivka zrnitosti vzorky č.3

Graf 3 zobrazuje krivku zrnitosti podľa ktorej sme zatriedili zeminu. Vzorka obsahuje **20,5%** piesku (s) a **79,5%** jemnozrnnej frakcie ($<0,063\text{mm}$). Z hustomernej skúšky sme zistili, že obsah prachovitej frakcie ($0,063\text{-}0,002\text{ mm}$) je **67,5%** a obsah ílovitých častíc ($<0,002\text{ mm}$) je **12%**.

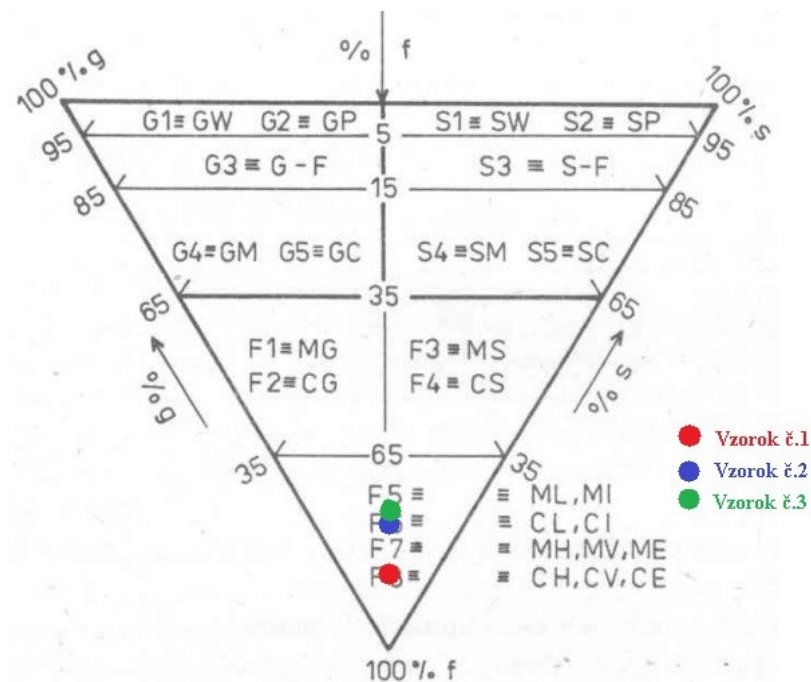
- podľa ČSN 73 1001 (v súčasnosti neplatná)

Index plasticity ($I_p = w_L - w_p$) vzorka č.1 $I_p = 23,69$, $w_L = 41,59$

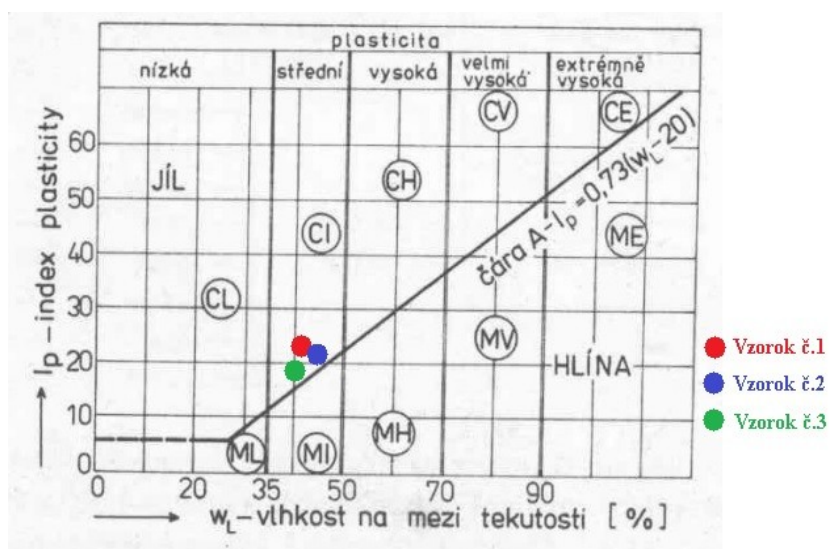
vzorka č.2 $I_p = 22,75$, $w_L = 44,85$

vzorka č.3 $I_p = 16,95$, $w_L = 40,05$

Zemina bola zatriedená pomocou trojuholníkového diagramu (viz obtázok 7) a Casagrandeho plastického diagramu (viz obrázok 8).



Obrázok 6 - Trojuholníkový diagram (ČSN 73 1001)

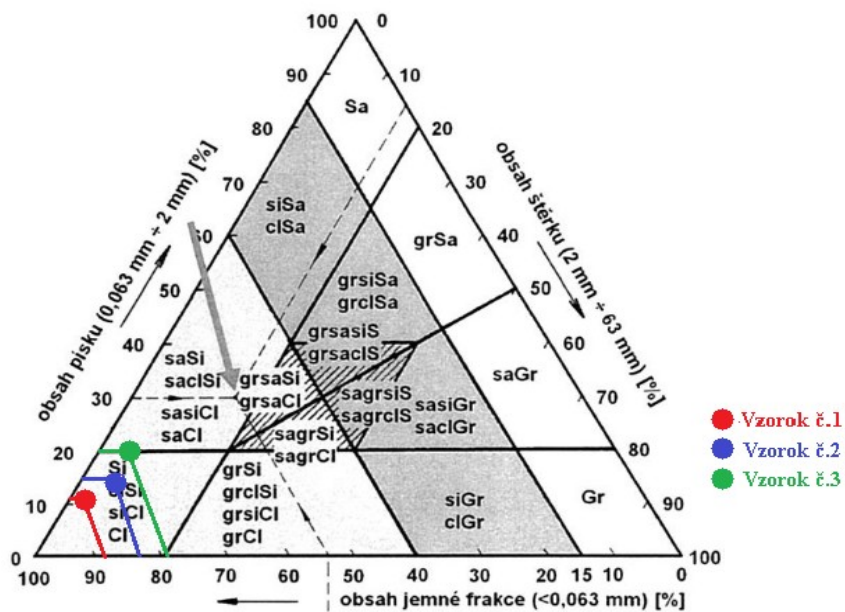


Obrázok 7 - Casagrandeho diagram plasticity (ČSN 73 1001 neplatná)

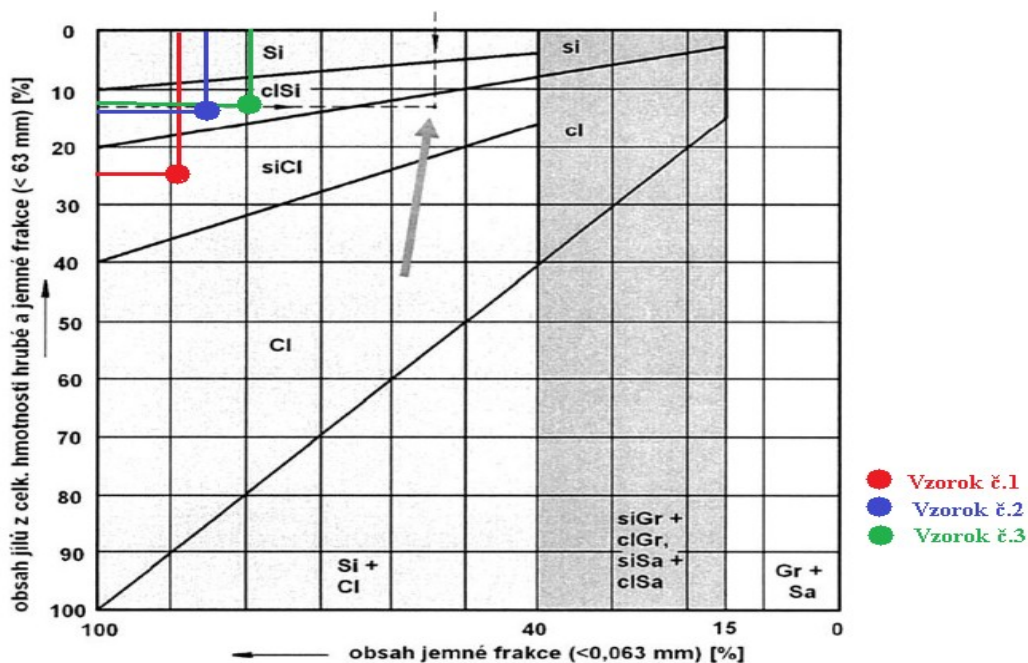
Podľa ČSN 73 1001 boli zeminy zatriedené ako (CI = F6) íl so strednou plasticitou

- podľa EN ISO 14688

Zatriedenie podľa percentuálneho podielu piesku a jemnozrnnej frakcie, ktoré sa vynášajú pomocou strán trojuholníka (viz obrázok č.9) následne prenesenie množstva ílovitých častíc na zvislú os štvorcového diagramu (viz obrázok č.10).



Obrázok 8 - Trojuholníkový diagram pre zatriedenie zeminy podľa EN ISO 14688



Obrázok 9 - Štvorcový diagram pre zatriedenie zeminy podľa EN ISO 14688

Podľa EN ISO 14688 bola zemina zatriedená ako vzorka č.1 (siCl) íl hlinitý a vzorka č.2,3 (clSi) hlina ílovitá.

3.3. Pyknometrická skúška

ČSN CEN ISO/TS 17892-3

Geotechnický prieskum a skúšanie - Laboratórne skúšky zemín -
Časť 3: Stanovenie zdanlivej hustoty pevných častíc zemín pomocou pyknometra

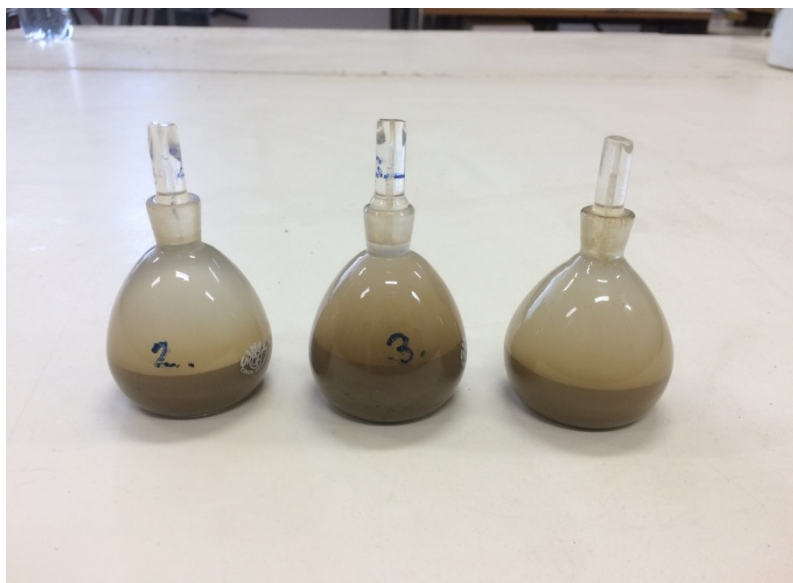
Stanovenie zdanlivej hustoty pevných častíc zemín pomocou pyknometra. Pyknometrická metóda je založená na zistení objemu zeminy o známej hmotnosti metódou stanovenia vytlačenej kvapaliny. Zdanlivá hustota pevných častíc zeminy je vypočítaná z hmotnosti a objemu zeminy. Stanovenie pomocou pyknometra je vhodné pre zeminy s veľkosťou častíc pod 4 mm.

Potrebné zariadenie na vykonanie skúšky:

1. Teplomer
2. Varič
3. Pyknometer
4. Váhy

Postup skúšky:

1. Suchý a čistý pyknometer zvážíme s presnosťou na 0,001 g (m_1) vážíme aj so zátkou.
2. Do pyknometra nasypeme vzorku zeminy frakcia do 0,125 mm, približne do 1/3 výšky pyknometra a zvážíme s presnosťou na 0,001 g (m_2).
3. Následne dolejeme cca do $\frac{3}{4}$ výšky pyknometra destilovanú vodu a uvedieme do mierneho varu. Varíme pod dobu 15 minút.
4. Pyknometer doplníme destilovanou vodou a temperujeme na teplotu 20°C. Osušený pyknometer zvážíme (m_3).



Obrázok 10 - Pycnometrická skúška (Foto autor)

Vyhodnotenie :

$$\rho_s = \frac{(m_2 - m_1) * \rho_v}{\rho_v * V + m_2 - m_3} \quad (5)$$

$$V = \frac{(m_v - m_1)}{\rho_v} \quad (6)$$

ρ_v = merná hmotnosť vody pri 20°C

m_v = hmotnosť pyknometra naplneného vodou s teplotou 20°C

Vzorok č.1	ρ_s	2,628	g/cm3
Vzorok č.2	ρ_s	2,681	g/cm3
Vzorok č.3	ρ_s	2,641	g/cm3

Tabuľka 2 - Vyhodnotenie hustoty pevných častíc (ČSN 73 1007)

4. Štandardný normový prístup stanovenia medze plasticity

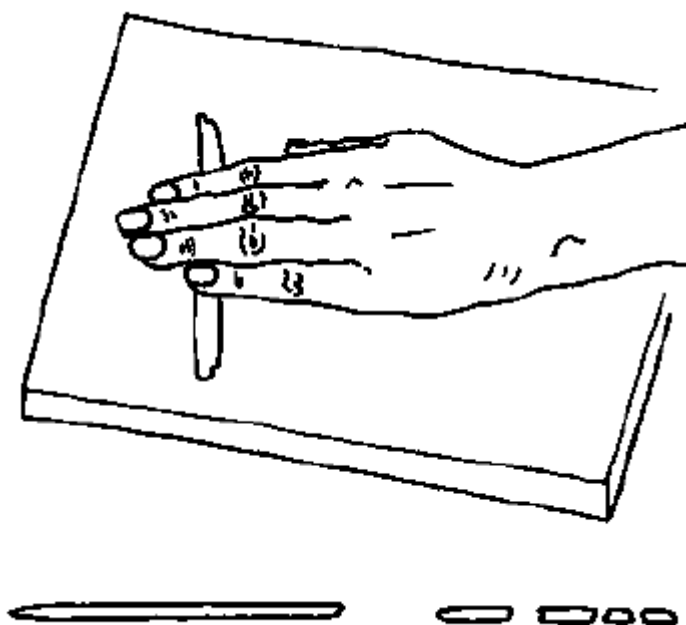
ČSN CEN ISO/TS 17892 - 12 (72 1007)

Geotechnický prieskum a skúšanie - Laboratórne skúšky zemín -

Časť 12: Stanovenie konzistenčných medzí

Príprava skúšobného vzorku zeminy:

Skúšky musia byť prevádzkané pokiaľ to ide na zemine v jej prirodzenom stave. Vzorka určená ku skúške nesmie vyschnúť pod vlhkosť potrebnú pre danú skúšku, pokiaľ sa vo vzorku nachádza hrubozrnný a organický materiál potom tento materiál vylúčime zo skúšobnej vzorky. Poznámka o prítomnosti takejto frakcie má byť uvedená v protokole spoločne s u presnením, či bola pri príprave skúšobnej vzorky z neho vybratá, či nie. Prednosť sa musí dať skôr ručnému odstráneniu hrubých zŕn zo vzorku, ako preosieváním pomocou mokrej preosievacej skúšky, aby sa predišlo možným zmenám zeminy vplyvom pridávaním vody odlišnej od vody obsiahnutej v póroch. Pokiaľ hrubá frakcia nemôže byť odstránená ručne, potom musí byť tieto zrná odstránená pomocou mokrej presievacej metódy. Pri hnetení mäkkého pôvodne prirodzeného vzorku sa zhodnotí štruktúra skeletu zeminy.



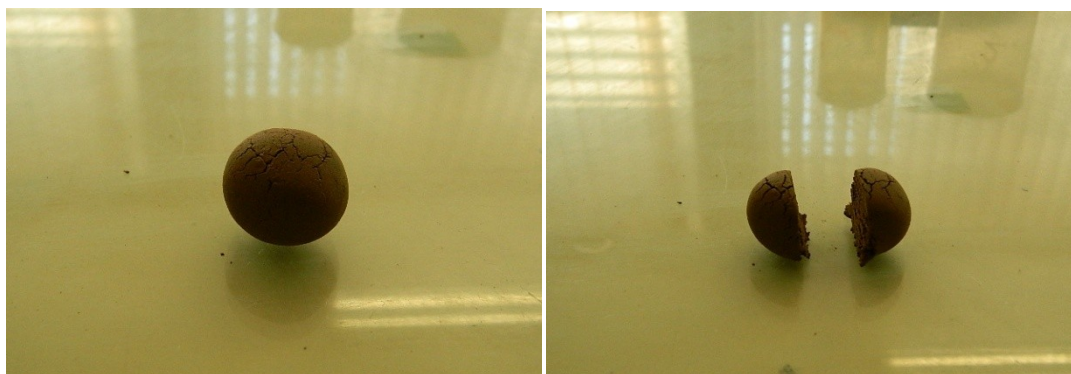
Obrázok 11 - Laboratórna skúška na stanovenie medze plasticity

Postup skúšky stanovenia medze plasticity:

Podľa normy ČSN CEN ISO/TS 17892-12 sa navlhčená vzorka zeminy hňieti medzi prstami za účelom rovnomerného rozloženia vlhkosti. Vzorku vytvarujeme do tvaru gule a valkáme ju medzi dlaňami pokiaľ teplo rúk nevysuší zeminu natoľko, aby sa na nej objavili jemné praskliny. Táto skúšobná vzorka sa musí rozdeliť na dva dielčie vzorky o hmotnosti približne 10g. Na každom z nich musí prebehnúť samostatné stanovenie medze plasticity.

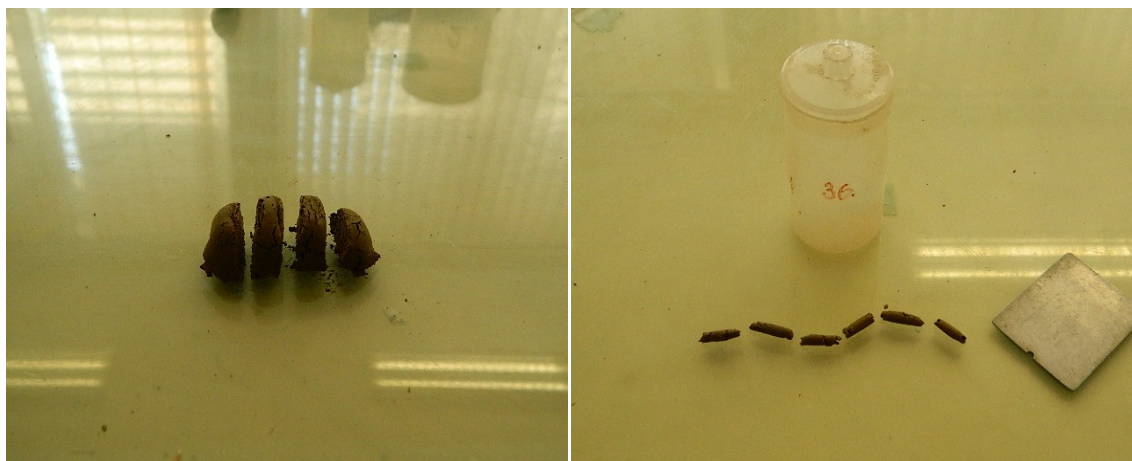
Potrebné príslušenstvo:

1. Laboratórna váha (presnosť 0,03g, rozlíšenie 0,01g)
2. Váženky s uzáverom (pre zachovanie vlhkosti počas skúšky)
3. Podložka so skleneným povrchom
4. Šablóna s otvorom o priemere 3mm
5. Zariadenie pre stanovenie vlhkosti podľa CEN ISO/TS 17892-1



Obrázok 12 - 13 Štandardný prístup stanovenia w_p

Obe polovice guľôčky musia byť rozdelené na štyri rovnomerné časti, ktoré hniesime medzi ukazovákom a palcom tým vytvarujeme zeminu do valčekov o priemere približne 6 mm. Tieto valčeky sa musia následne valkať medzi prstami ruky od špičky po druhý kĺb na povrchu miešacej alebo valkacej dosky, ktorá je zo skla. Musí sa použiť tlak pôsobiaci zmenšenie priemeru valčekov na zhruba 3 mm po 5 až 10 pohyboch ruky dopredu a dozadu pri rýchlosti cca 1 pohyb (vpred + vzad) za 1 sekundu. Niektoré íly s vysokou plasticitou budú vyžadovať 10 až 15 pohybov, pretože tuhnú v štádiu blízkom medze plasticity. Je dôležité neustále zachovávať rovnaký rolovací tlak. Tlak sa nemá znižovať pri približovaní sa priemeru valčeka k požadovaným 3 mm.



Obrázok 14 - 15 Štandardný prístup stanovenia w_p

Postup sa musí opakovať pokiaľ sa valčeky s priemerom blížiacim ku 3 mm, kontrolovaným porovnávaním so šablónou nerozpadávajú ako v priečnom tak aj v pozdĺžnom smere. Kúsky zeminy sa nemôžu zbierať a znovu valkať potom čo popraskajú. Prvý bod rozdrobenia indikuje dosiahnutie medze plasticity.

Časti rozpraskaných valčiek o priemere 3mm a dĺžke 10mm sa musia zozbierať a umiestniť do vhodnej nádoby (váženky), ktorá sa musí okamžite uzatvoriť, pre zachovanie vlhkosti. Postup sa opakuje na všetkých štyroch častiach vzorku a umiestnia sa do rovnakej váženky. Potom má byť stanovená vlhkosť zeminy vo váženke.

Z jednej skúšky máme teda dve vlhkosti , ktoré boli stanovené na každej polovici guľôčky. Táto skúška sa vykonáva minimálne 3 krát, tým pádom máme 6 výsledkov vlhkosti, ktoré spriemerujeme a výsledkom je vlhkosť na medzi plasticity w_p .

5. Alternatívne stanovenie meze plasticity pomocou Vasiljevho kužela

A new method of measuring plastic limit of fine materials - V. Sivakumar, D. Glynn, P. Cairns a J.A.Black (2009) časopis Geotechnique 59, No. 10, str. 88 - 92

Autor uviedol, že hodnota medze plasticity a tekutosti závisí predovšetkým od klasifikácie zeminy, minerálneho zloženia, tvaru a povrchovej štruktúry pevných látok, aktivity ílových minerálov. Diskutujúci súhlasia s tým, že je potrebné vytvoriť konzistentnejší a presnejší postup na určenie medze plasticity, pretože štandardný prístup tzv. metóda valkania valčekom je veľmi subjektívna a závisí od šikovnosti a skúsenosti laboranta, ktorý túto skúšku vykonáva. V tomto ohľade vyvinuli novú metódu stanovenia medze plasticity, použitím kužeľovej skúšky štandardným kužeľom, ktorým má vrcholový uhol 30° a sila použitá pri zatlačení kužela do zeminy je 54N. Doposiaľ všetky realizované štúdie sa opierajú o teóriu nedrenovanej šmykovej pevnosti, z ktorej vychádza vzorec:

$$C_u = k * \frac{g * W}{d^2} \quad (7)$$

W - váha kužela

g - gravitačné zrýchlenie (9,81 m/s²)

d - hĺbka penetrácie

k- koeficient (geometrie kužela)

Pomocou Atterbergových konzistenčných medzí môžeme klasifikovať jemnozrnné zeminy a taktiež dôležité technické vlastnosti, pre analýzy a navrhovanie geotechnických konštrukcií. Autor príspevku pripomenul diskutujúcim dôležitý príspevok Feng (2000) v súvislosti s určovaním Atterbergových medzí, pomocou padajúceho kužela (Vasiljevho kužela). Fengová metóda je založená na predpoklade lineárnych vzťahoch medzi logaritmom penetrácie kužela (**log(d)**) proti logaritmu vlhkosti (**log(w)**), v rozmedzí hranice medzi medzou plasticity a medzou tekutosti. Z toho vypláva, že medz plasticity určíme pomocou 1/10 penetrácie kužela pri medzi tekutosti, čiže medz plasticity by mala byť v rozmedzí 2-5 mm penetrácie kužela.

Lepšou alternatívou je sa odkázať na **log (d)** proti **log (w)** vzťah medze tekutosti, ktorý je pre štandardný 80 gramový a 30° kužeľ pri penetrácii 20 mm.

Z toho vychádza vzorec pre výpočet **medze plasticity** :

$$w_p = w_L / 10^m \quad (8)$$

$$m = \frac{\Delta \log w}{\Delta \log d} \quad (9a)$$

alebo:
$$m = \log \frac{w_L}{w_p} \quad (9b)$$

Index plasticity:
$$I_p = w_L (1 - 1/10^m) \quad (10)$$

Z toho vyplýva že na stanovenie medze plasticity novou alternatívnou metódou musíme najskôr určiť vlhkosť na medzi tekutosti pomocou w_L Vasiljevho kužela (kuželovou skúškou).

Postup stanovenie medze tekutosti Vasiljevovým kuželom

Podľa ČSN CEN ISO/TS 17892 - 12 (72 1007) - Geotechnický prieskum a skúšky - Laboratórne skúšky zemín - Časť 12 : Stanovenie konzistenčných medzí.

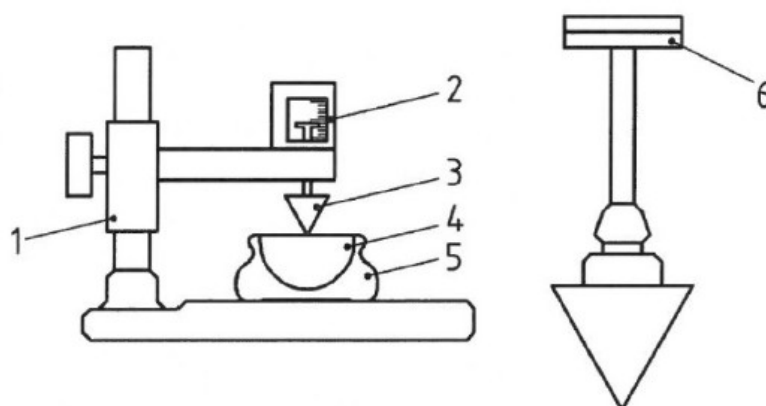
Norma umožňuje používať dva typy kuželov (60g / 60°) a (80g / 30°). Bolo preukázané , že výsledky skúšok medze tekutosti pomocou týchto kuželov sú zhodné. V mojej práci som používal kužel s hmotnosťou 80 g a vrcholovým uhlom 30°.

Potrebné zariadenie na vykonanie skúšky:

1. Kuželový prístroj
2. Laboratórna váha
3. Laboratórne nože, stierky
4. Zariadenie pre stanovenie vlhkosti podľa CEN ISO/TS 17892 - 1
5. Nádoby na miešanie
6. Plastová striekačka s destilovanou vodou
7. Váženky

Legenda

- 1 nastaviteľné rameno
- 2 plexisklo se stupnicí
- 3 kužel
- 4 zkušební vzorek
- 5 míchací nádoba
- 6 ukazatel

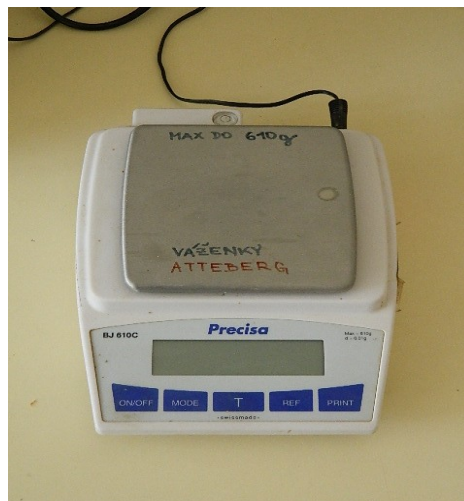


Obrázok 16 Schéma kužeľového prístroja

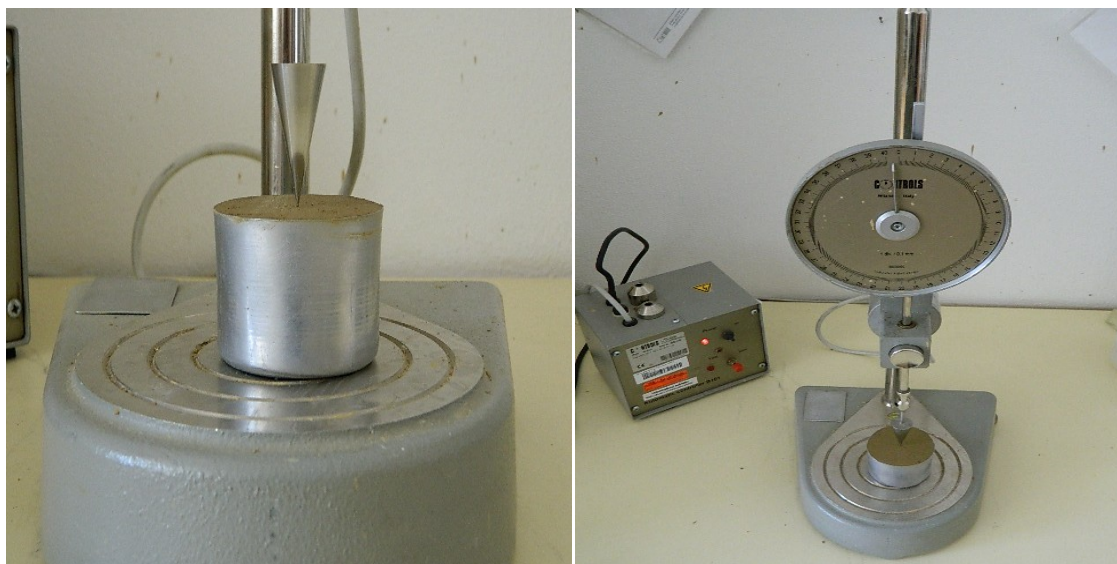
Postup skúšky :

1. Vzorku zeminu miešame v nádobe na miešanie cca 5 minút pre dôkladné rozloženie vlhkosti.
2. Premiesenú zeminu vložíme do misky, ktorá je určená na kužeľovú skúšku, tak aby nevznikali vzduchové bubliny. Povrch sa zarovná s okrajom misky pomocou laboratórneho noža (stierky).
3. Misku so zeminou umiestnime pod penetračný kužeľ. Kužeľ musíme výškovo nastaviť tak , aby bol hrot kužeľa v tesnom kontakte so zeminou. (pri pohybe misky je vidieť jemnú ryhu na povrchu zeminu).
4. Na stupnici prístroja prevedieme počiatkové odčítanie výšky kužeľa s presnosťou na 0,1mm.
5. Spustíme prístroj, kužeľ sa uvoľní na 5 sekúnd. Zo stupnice kužeľového prístroja sa zaznamená zaborenie kužeľa do zeminu. Rozdiel medzi počiatkovým odčítaním a hodnotou zaborenia je hĺbka penetrácie. Pri štandardnom kuželi by sa mala hodnota pohybovať v rozmedzí 10 - 30 mm.
6. Celý postup skúšky sa musí opakovať minimálne tri krát za použitia rovnakého vzorku zeminu pri rôznych vlhkostiach. Zvyšovanie respektíve znižovanie zeminu závisí na hĺbke penetrácie kužeľa. Ak je penetrácia menšia ako 20mm, tak do vzorku pridáme destilovanú vodu. Ak je penetrácia väčšia ako 20mm, necháme vzorku zeminu čiastočne vysušiť.

7. Z penetračnej zóny kužela sa odoberie vzorka zeminy cca 20g pre stanovenie vlhkosti podľa ČSN CEN ISO/TS 17892-1.
8. Závislosť vlhkosti [%] a penetrácie kužela [mm] sa vynesie do grafu v semilogaritmickom merítku: na vodorovnú os hĺbka penetrácie v logaritmickom merítku a na zvislú os príslušná vlhkosť v lineárnom merítku. Týmto bodmi sa následne preloží priamka. Vlhkosť na mezi tekutosti pri štandardnom kuželi odpovedá hĺbke zaboranie 20mm. **Vlhkosť na medzi plasticity** podľa alternatívneho riešenie odpovedá 1/10 (2 mm) zaborenie pri medze tekutosti. Hodnoty medzi majú byť vyjadrené na dve platné číslice.



Obrázok 17 Laboratórna váha s presnosťou 0,03 g.



Obrázok 18 - 19 Alternatívny prístup stanovenia wp (Vasiljevov kužel)

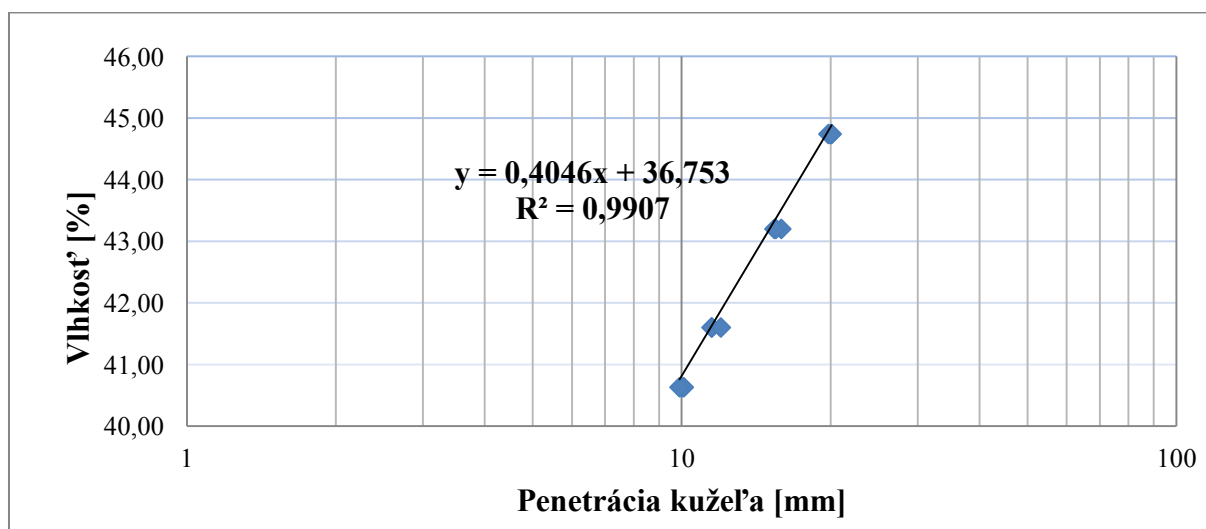
6. Vlastné laboratórne skúšky medze tekutosti a medze plasticity

Na všetkých troch vzorkách zeminy, ktoré som klasifikoval vyššie som previedol štandardné určenie vlhkosti na medzi plasticity metódou tzv. valkania valčekov. Ďalej som určil vlhkosť na medzi tekutosti pomocou Vasiljevho kužela, s ktorej som následne vypočítal vlhkosť na medzi plasticity.

Vzorka č.1 (siCl)		
Medz plasticity w_p		
číslo skúšky	vlhkosť [%]	priemer [%]
1	24	22,85
	21,7	
2	23,3	23,65
	24	
3	20,2	19,9
	16,9	
$\Sigma[\%]$ w_p		22,1

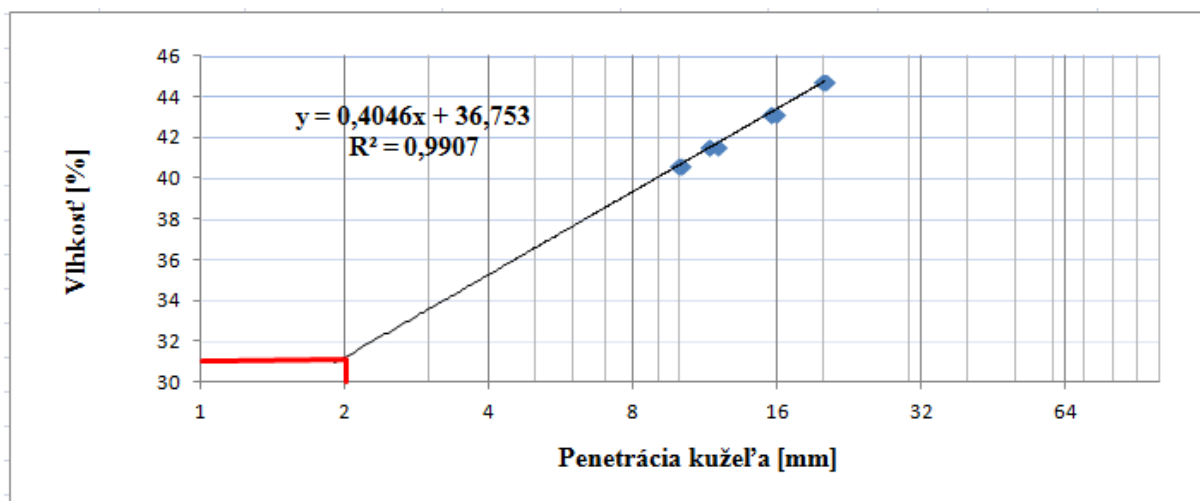
Tabuľka 3 Vyhodnotenie medze plasticity štandardne podľa ISO/TS 17892-12

Tabuľka 2 zobrazuje výsledky troch štandardných (normových) prístupov skúšok na určenie vlhkosti na medzi plasticity. Výsledná vlhkosť na medzi plasticity $w_p = 22,1\%$.



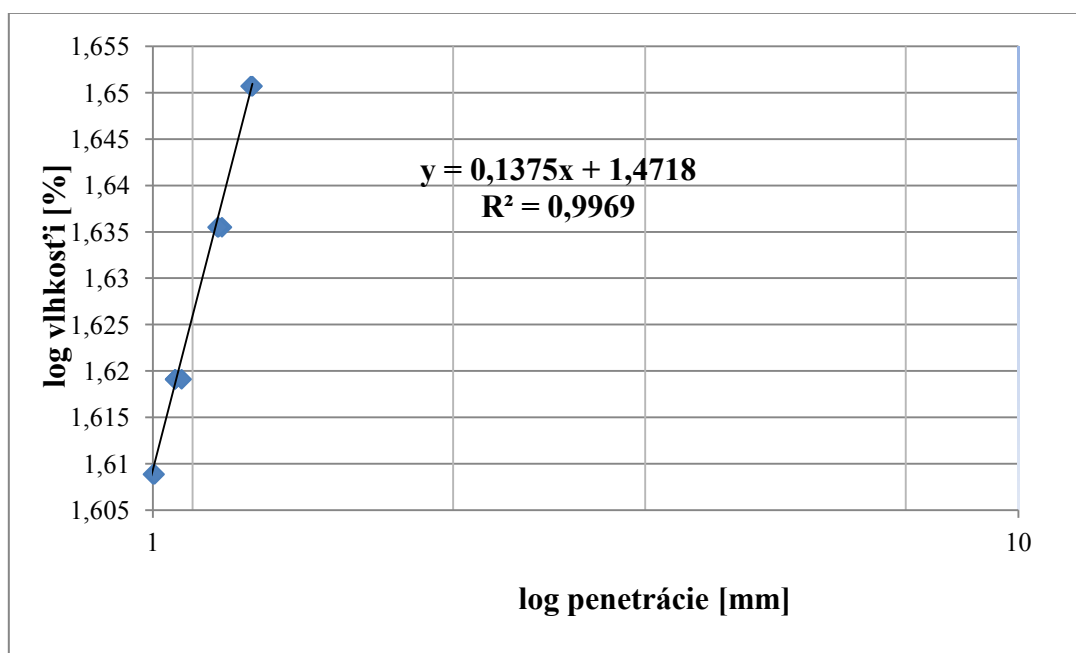
Graf 4 - Vyhodnotenie meze tekutosti pomocou Vasiljevho kužela pre vzorka č.1

Graf 2 zobrazuje vyhodnotenie kužeľovej skúšky podľa ISO/TS 17892-12, výsledná vlhkosť na medzi tekutosti $w_L = 44,845\%$.



Graf 5 - Alternatívne vyhodnotenie vlhkosti na mezi plasticity

Graf 3 zobrazuje alternatívne vyhodnotenie vlhkosti na medzi plasticity pomocou Vasiljevho kužela pri 2 mm zaborení kužela. $w_p = 31\%$



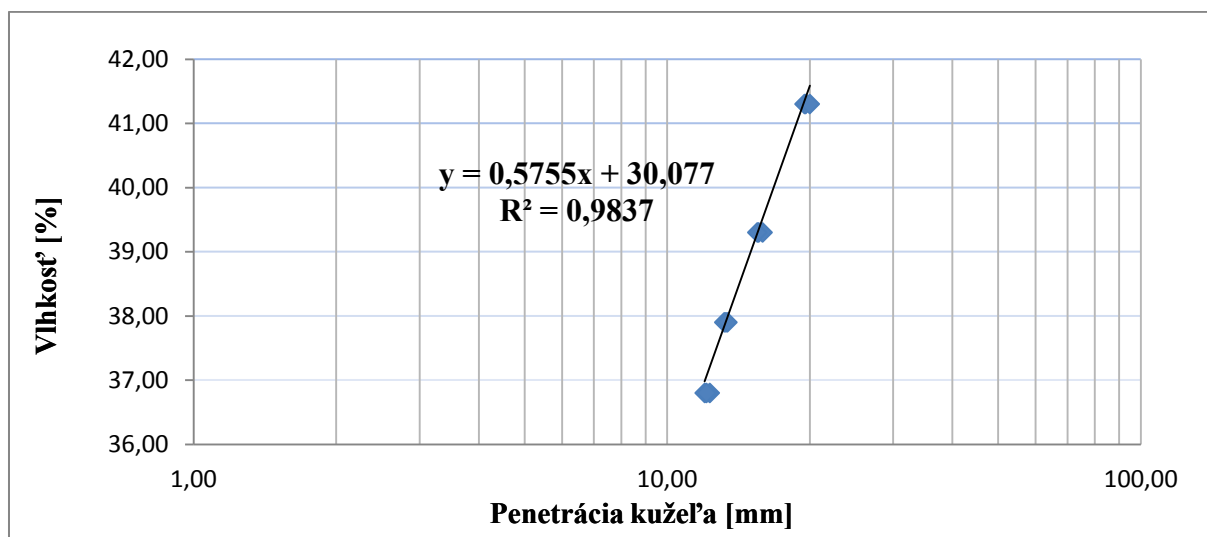
Graf 6 - Alternatívne vyhodnotenie penetrácia kužela závislej na vlhkosti v logaritmickom merítku

Z grafu 4 sme určili parameter m , ktorý je rovný hodnote x v rovnici priamky, tento parameter určuje sklon priamky. $m = 0,1375$. Parameter m som dosadil do rovnice (8), pomocou ktorej vypočítam vlhkosť na medzi plasticity alternatívnym spôsobom $w_p = 32,7\%$.

Vzorka č.2 (clSi)		
Medz plasticity wp		
číslo skúšky	vlhkosť [%]	priemer[%]
1	18,5	18,15
	17,8	
2	18	18,2
	18,4	
3	17,5	17,35
	17,2	
Σ [%] wp		17,9

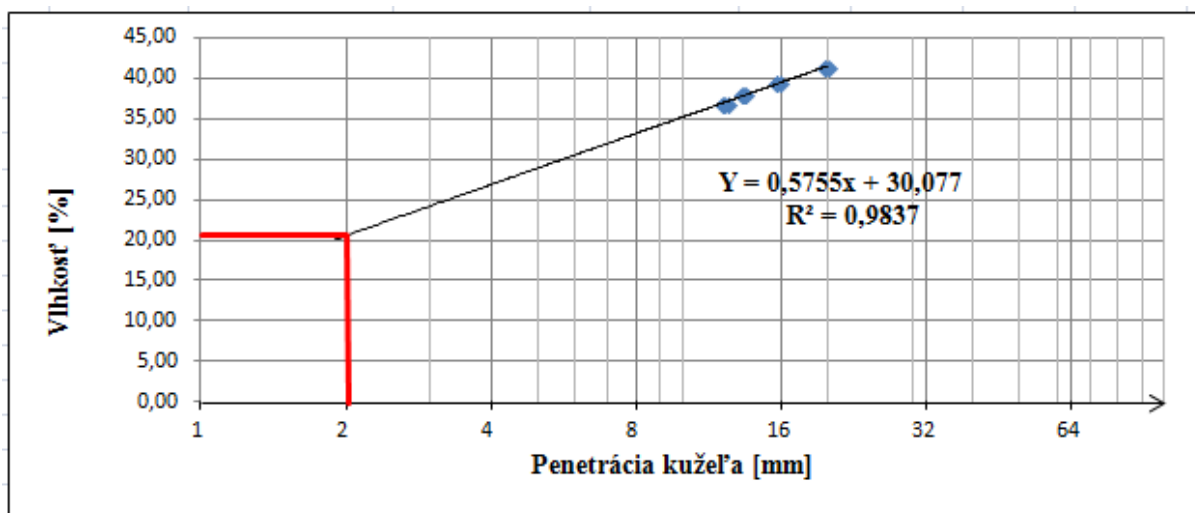
Tabuľka 4 Vyhodnotenie medze plasticity štandardne podľa ISO/TS 17892-12

Tabuľka 3 zobrazuje výsledky troch štandardných (normových) prístupov skúšok na určenie vlhkosti na medzi plasticity. Výsledná vlhkosť na medzi plasticity $w_p = 17,9\%$



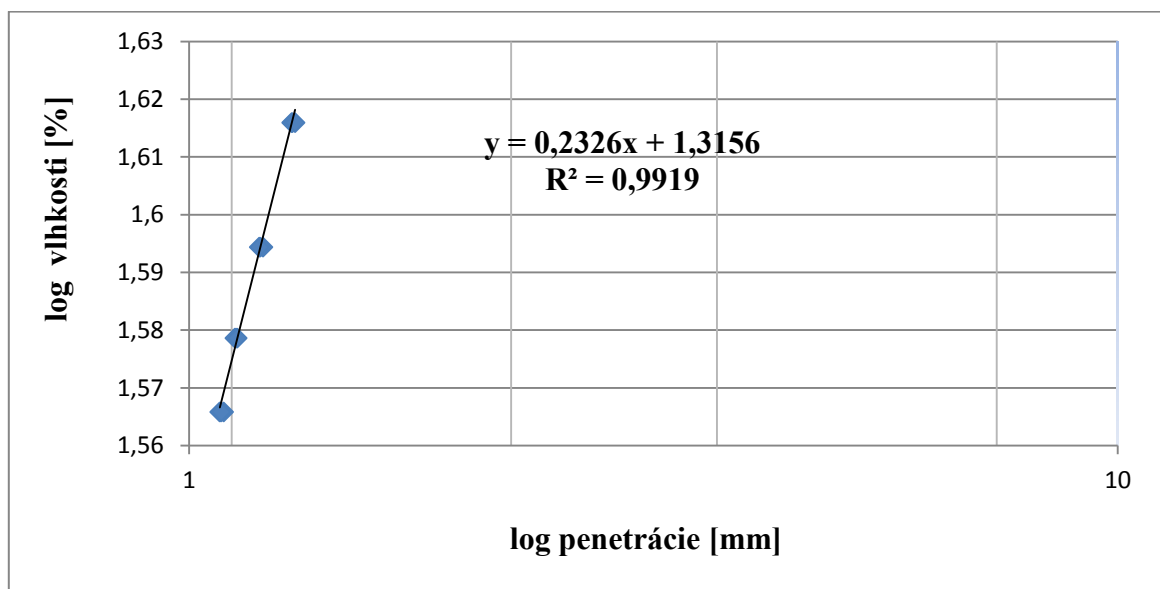
Graf 7 Vyhodnotenie medze tekutosti pomocou Vasiljevho kužela pre vzorku č.2

Graf 5 zobrazuje vyhodnotenie kužeľovej skúšky podľa ISO/TS 17892-12, výsledná vlhkosť na medzi tekutosti $w_L = 41,59\%$.



Graf 8 - Alternatívne vyhodnotenie vlhkosti na medzi plasticity

Graf 6 zobrazuje alternatívne vyhodnotenie vlhkosti na medzi plasticity pomocou Vasiljevho kužeľa pri 2 mm zaborení kužeľa. $w_p = 21\%$



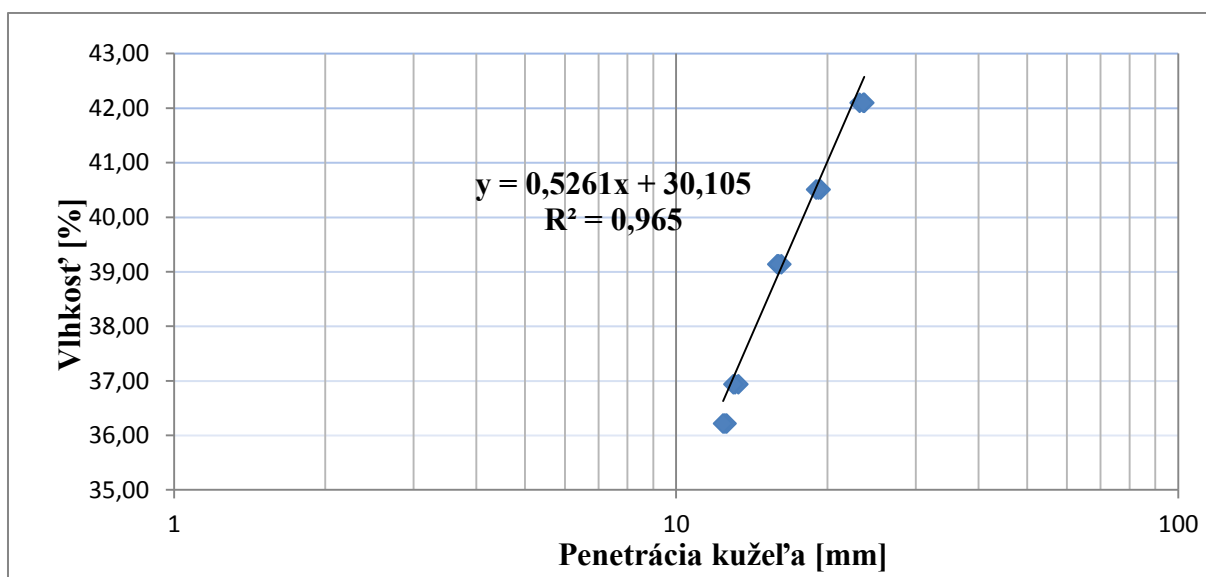
Graf 9 Alternatívne vyhodnotenie penetrácia kužeľa závislej na vlhkosti v logaritmickom merítke

Z grafu 7 sme určili parameter m , ktorý je roviny hodnote x v rovnici priamky, tento parameter určuje sklon priamky. $m = 0,2326$. Parameter m som dosadil do rovnice (8), pomocou ktorej vypočítam vlhkosť na medzi plasticity alternatívnym spôsobom $w_p = 24,3\%$.

Vzorka č.3 (clSi)		
Medz plasticity wp		
číslo skúšky	vlhkosť [%]	priemer[%]
1	23,5	24,2
	24,9	
2	23,2	22,75
	22,3	
3	22,8	22,45
	22,1	
Σ[%] wp		23,1

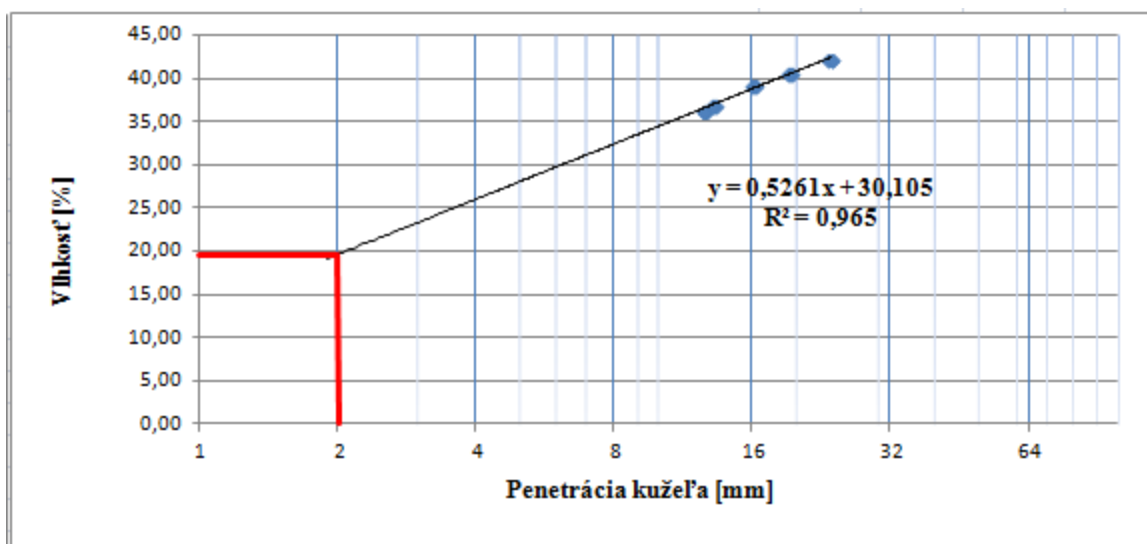
Tabuľka 5 Vyhodnotenie medze plasticity štandardne podľa ISO/TS 17892-12

Tabuľka 4 zobrazuje výsledky troch štandardných (normových) prístupov skúšok na určenie vlhkosti na medzi plasticity. Výsledná vlhkosť na medzi plasticity $w_p = 23,1\%$



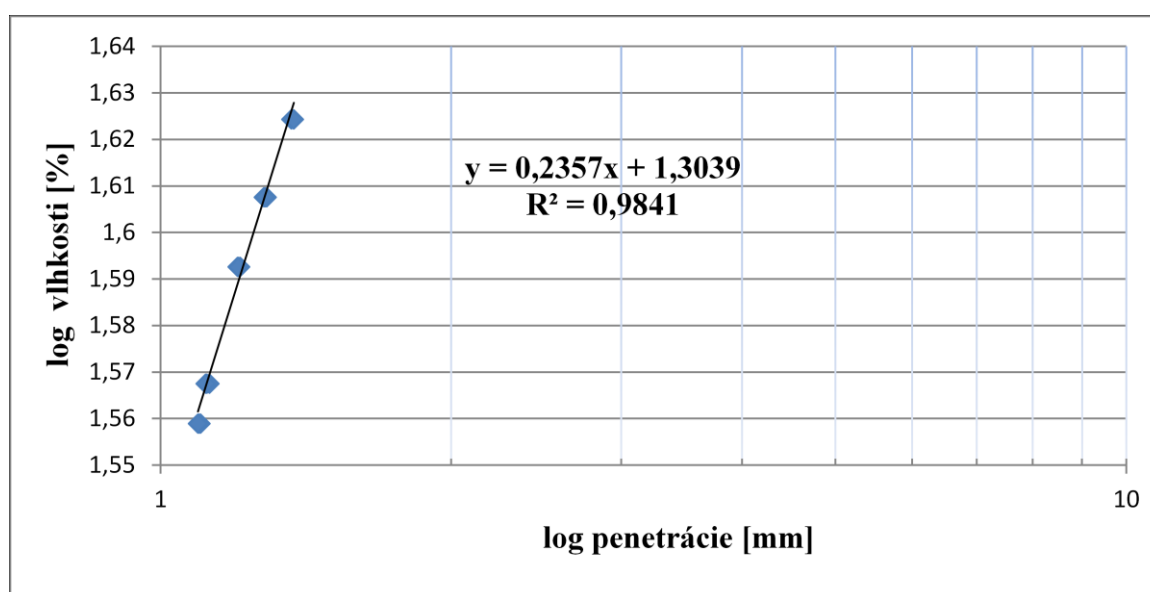
Graf 10 Vyhodnotenie meze tekutosti pomocou Vasiljevho kužela pre vzorku č.3

Graf 5 zobrazuje vyhodnotenie kuželovej skúšky podľa ISO/TS 17892-12, výsledná vlhkosť na medzi tekutosti $w_L = 40,63\%$.



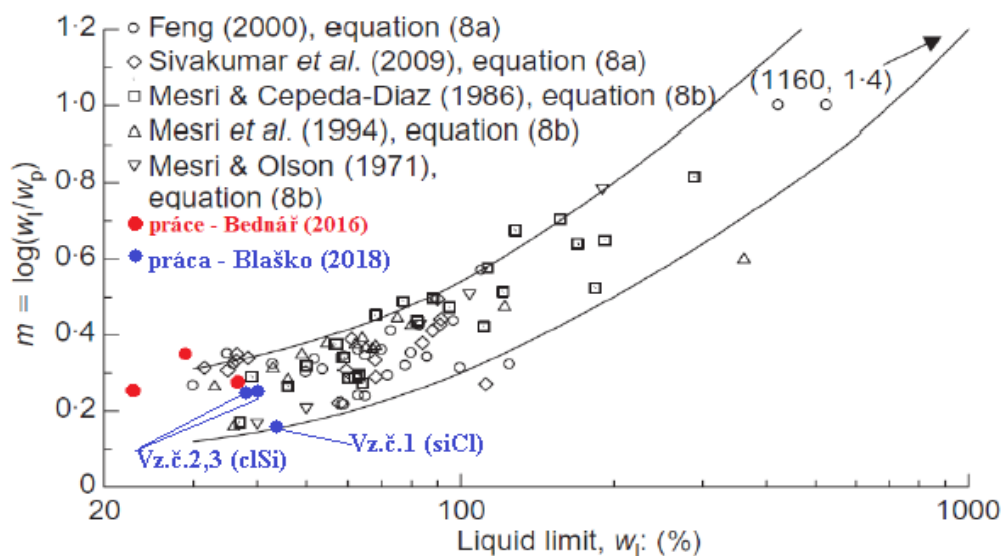
Graf 11 - Alternatívne vyhodnotenie vlhkosti na medzi plasticity

Graf 9 zobrazuje alternatívne vyhodnotenie vlhkosti na medzi plasticity pomocou Vasiljevho kužela pri 2 mm zaborení kužela. $w_p = 20\%$



Graf 12 Alternatívne vyhodnotenie penetrácia kužela závislej na vlhkosti v logaritmickom merítku

Z grafu 7 sme určili parameter m , ktorý je rovný hodnote x v rovnici priamky, tento parameter určuje sklon priamky. $m = 0,2357$. Parameter m som dosadil do rovnice (8), pomocou ktorej vypočítam vlhkosť na medzi plasticity alternatívnym spôsobom $w_p = 23,6\%$.



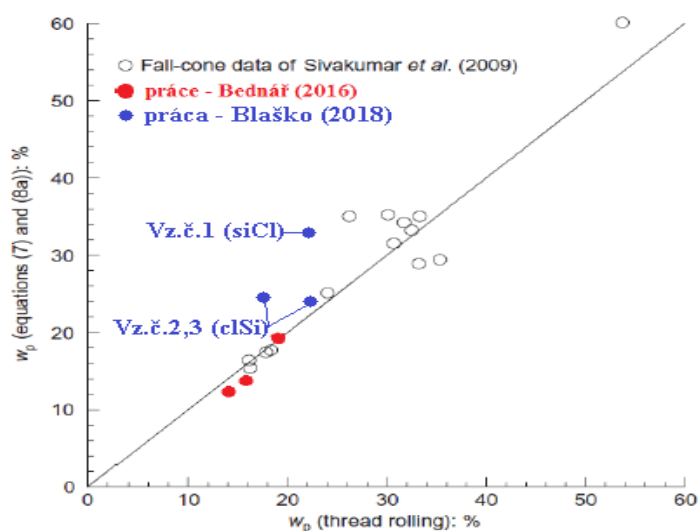
Obrázok 20 - graf parametrov (m) v závislosti na vlhkosti zeminy (Sivakumar, 2011)

Parameter m pre : Vzorok č.1 $m = 0,1375$ a $w_L = 44,85$

Vzorok č.2 $m = 0,2326$ a $w_L = 41,57$

Vzorok č.3 $m = 0,2357$ a $w_L = 40,63$

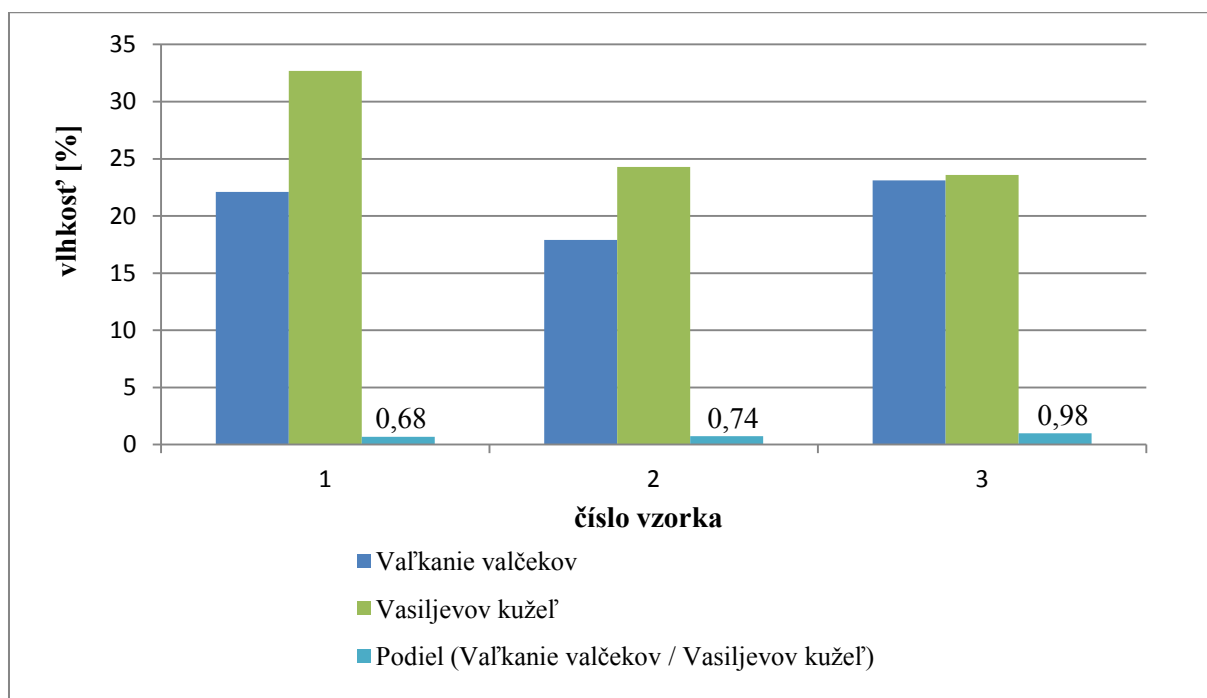
7. Porovnávacia analýza výsledkov medze plasticity



Obrázok 21 - graf závislosti medze plasticity stanovenej štandardným a alternatívnym spôsobom (Sivakumar 2011)

	Vzorka č.1	Vzorka č.2	Vzorka č.3
Wp (vaľkanie valčekov)[%]	22,1	17,9	23,1
Wp (Vasiljevov kužeľ pri penetrácii 2mm)[%]	31	21	20
Wp (Vasiljevov kužeľ pomocou parametra m)[%]	32,7	24,3	23,6

Tabuľka 6 Výsledné hodnoty vykonaných skúšok



Graf 13 - Výsledne hodnoty vlhkosti na medzi plasticity prevedených skúšok

Na skúmaných vzorkách zemín boli vykonané dve skúšky pre stanovenie medze plasticity štandardný normový prístup tzv. metódou vaľkania valčekov a alternatívny prístup pomocou Vasiljevho kužeľa o ktorom sa zmieňuje vo svojom článku V.Sivakumar (2011). **Vzorka č.1** (siCl - íl hlinitý) s 25% obsahom ílovitej frakcie $>0,002\text{mm}$ ma podľa štandardného prístupu $w_p = 22,1\%$, alternatívnym prístupom bola stanovená hodnota $w_p = 32,7\%$. **Vzorka č.2** (clSi - hlina ílovitá) s 13% obsahom ílovitej frakcie $>0,002\text{mm}$ ma podľa štandardného prístupu $w_p = 17,9\%$, alternatívnym prístupom bola stanovená hodnota $w_p = 24,3\%$. **Vzorka č.3** (clSi - hlina ílovitá) s 12% obsahom ílovitej frakcie $>0,002\text{mm}$ ma podľa štandardného prístupu $w_p = 23,1\%$, alternatívnym prístupom bola stanovená hodnota $w_p = 23,6\%$.

Z toho vyplýva že, najväčší rozdiel medzi skúškami je na **vzorke č.1** podiel hodnôt (0,68) táto vzorka obsahuje najväčšie množstvo ílovitej frakcie, ktorá priamo ovplyvňuje hodnotu medze plasticity. Rozdiel môže taktiež ovplyvniť stanovenie medze plasticity štandardným spôsobom z dôvodu subjektivity skúšky, ktorej výsledok ovplyvňuje v prvom rade laborant. **Vzorky č.2 a 3** , ktoré boli klasifikované podľa EN ISO 14688 ako (clSi - hlina ílovitá) čiže zeminy rovnakého charakteru majú podľa štandardnej subjektívnej skúšky $w_{p2}=17,9\%$; $w_p = 23,1\%$ a podľa novej alternatívnej metódy $w_{p(kužel')2} = 24,3\%$; $w_{p(kužel')} = 23,1\%$. Z toho je možné vyvodit', že nová alternatívna metóda určovania medze plasticity pomocou kuželovej skúšky funguje a môže byť presnejšia ako štandardná metóda. Pre presnejšiu analýzu a formuláciu záverov by bolo vhodné vykonať väčší počet skúšok štandardným ale i alternatívnym prístupom.

8. Záver

Cieľom práce bolo porovnať štandardné vyhodnotenie vlhkosti na medzi plasticity s alternatívnym prístupom vyhodnotenia pomocou kužeľovej skúšky ,ktorý v svojom článku opisuje V.Sivakumar (2011). Porovnávací analýza potvrdila predpoklad, že štandardný normový prístup stanovenia medze plasticity je subjektívny. Porovnávací analýza taktiež potvrdila, že nový alternatívny prístup stanovenia medze plasticity funguje a je presnejší ako štandardný normový prístup. Realizované skúšky na jednotlivých zeminách potvrdili predpoklad, že zemina s vyšším obsahom ílovitých častíc ($<0,002\text{mm}$) má vyššiu vlhkosť na medzi tekutosti (w_L) a medzi plasticity (w_p) ako zemina s nižším obsahom ílovitých častíc.

Z výsledkov bakalárskej práce plynú nasledujúce hlavné závery:

- Porovnávací analýza overila, vplyv subjektívneho faktoru pri stanovení medze plasticity štandardným spôsobom.
- Možnosť stanovenia medze plasticity novým alternatívnym prístupom s využitím kužeľovej skúšky na základe článku V.Sivakumar (2011).
- Získanie vyšších hodnôt vlhkosti na medzi plasticity stanovených kužeľovou skúškou v porovnaní so štandardným normovým prístupom stanovenia medze plasticity tzv. metódou valkania valčekov.
- Potvrdenie, že zeminy s vyšším obsahom ílovitých častíc majú väčšiu plasticitu.
- Porovnanie výsledkov vlastných realizovaných skúšok so zahraničnými štúdiami, realizované výsledky boli v dobrej zhode s výsledkami zahraničných prácí.

Je treba dodať, že výsledky v práci majú len obmedzujúci charakter. Pre presnejšiu analýzu a formuláciu záverov by bolo potrebné realizovať viacej skúšok na skúmaných zeminách. Budúce štúdie pre presnejšie porovnanie vyhodnotenia štandardným a alternatívnym spôsobom si určite zaslúžia väčšiu pozornosť táto práca sa snažila prispieť svojimi poznatkami do danej problematiky.

Týmto by som chcel poďakovať pani doc. RNDr. Eve Hrubéšovej za jej odborné vedenie, poskytovanie užitočných rád, materiálových podkladov a pomoc pri realizácii tejto bakalárskej práce.

9. Zoznam použitých zdrojov

Zoznam literatúry

- [1] Hulla J., Turček P. *Zakladanie stavieb*. Bratislava: Jaga, 1998.
- [2] Šimek J. a kol. *Mechanika zemín*. Praha: SNTL, 1990.
- [3] ČSN CEN ISO/TS 17892-4 *Stanovenie zrnitosti zemín* Praha: Český normalizačný inštitút, 2005.
- [4] ČSN CEN ISO/TS 17892-3 *Stanovenie zdanlivej hustoty pevných častíc zemín pomocou pyknometra* Praha: Český normalizačný inštitút, 2005.
- [5] ČSN CEN ISO/TS 17892-12 *Stanovenie konzistenčných mezí* Praha: Český normalizačný inštitút, 2005.
- [6] ČSN CEN ISO/TS 17892-6 *Kuželová skúška* Praha: Český normalizačný inštitút, 2005.
- [7] ČSN CEN ISO/TS 17892-1 *Stanovenie vlhkosti zemín* Praha: Český normalizačný inštitút, 2005.
- [8] Sivakumar, V. a kol. *A new method of measuring plastic limit of fine materials*, Géotechnique 61. No. 1, str. 88-92, 2011.
- [9] Shimobe, S. *Determination of index properties and undrained shear strength of soils using the fall cone test*, Japan: Saga. str. 16-18, 2010.
- [10] Bednář, R. *Stanovenie závislosti meze tekutosti a plasticity zemín na typu zeminy*, Bakalárska práca, Stavebná fakulta VŠB-TU Ostrava, 2016.

Zoznam tabuliek:

Tabuľka 1 - stupeň konzistencie zemín	12
Tabuľka 2 - Vyhodnotenie hustoty pevných častíc (ČSN 73 1007).....	22
Tabuľka 3 Vyhodnotenie medze plasticity štandardne podľa ISO/TS 17892-12.....	30
Tabuľka 4 Vyhodnotenie medze plasticity štandardne podľa ISO/TS 17892-12.....	32
Tabuľka 5 Vyhodnotenie medze plasticity štandardne podľa ISO/TS 17892-12.....	34
Tabuľka 6 Výsledné hodnoty vykonaných skúšok.....	37

Zoznam obrázkov:

Obrázok 1 - Zobrazenie konzistencie súdržných zemín na vlhkostnej ose	10
Obrázok 2 - Plstická oblasť rôznych zemín.....	11
Obrázok 3 - Skúmaný vzorok zeminy č.1 (Foto autor)	13
Obrázok 4 - Skúmaný vzorok zeminy č.2 (Foto autor)	13
Obrázok 5 - Skúmaný vzorok zeminy č.3 (Foto autor)	14
Obrázok 5 - Pripravený vzorok zeminy a sitá s podsítnou miskou na mokrú presiaveciu skúšku	15
Obrázok 6 - Trojuhelníkový diagram (ČSN 73 1001)	19
Obrázok 7 - Casagrandeho diagram plasticity (ČSN 73 1001 neplatná).....	19
Obrázok 8 - Trojuholníkový diagram pre zatriedenie zeminy podľa EN ISO 14688	20
Obrázok 9 - Štvorcový diagram pre zatriedenie zeminy podľa EN ISO 14688	20
Obrázok 10 - Pyknometrická skúška (Foto autor).....	22
Obrázok 11 - Laboratórna skúška na stanovenie meze plasticity	23
Obrázok 12 - 13 Štandardný prístup stanovenia w_p	24
Obrázok 14 - 15 Štandardný prístup stanovenia w_p	25
Obrázok 16 Schéma kužeľového prístroja	28
Obrázok 17 Laboratórna váha s presnosťou 0,03 g	29
Obrázok 18 - 19 Alternatívny prístup stanovenia w_p (Vasiljevov kužeľ).....	29
Obrázok 20 - graf parametrov (m) v závislosti na vlhkosti zeminy (Sivakumar, 2011)	36
Obrázok 21 - graf závislosti meze plasticity stanovenej štandardným a alternatívnym spôsobom	36

Zoznam grafov:

Graf 1 - Krivka zrnitosti vzorky č.1	17
Graf 2 - Krivka zrnitosti vzorky č.2	18
Graf 3 - Krivka zrnitosti vzorky č.3	18
Graf 4 - Vyhodnotenie meze tekutosti pomocou Vasiljevho kužeľa pre vzorku č.1	30
Graf 5 - Alternatívne vyhodnotenie vlhkosti na mezi plasticity	31
Graf 6 - Alternatívne vyhodnotenie penetrácia kužeľa závislej na vlhkosti v logaritmickom merítku. 31	
Graf 7 Vyhodnotenie medze tekutosti pomocou Vasiljevho kužeľa pre vzorku č.2	32
Graf 8 - Alternatívne vyhodnotenie vlhkosti na medzi plasticity	33
Graf 9 Alternatívne vyhodnotenie penetrácia kužeľa závislej na vlhkosti v logaritmickom merítku ...	33
Graf 10 Vyhodnotenie meze tekutosti pomocou Vasiljevho kužeľa pre vzorku č.3	34
Graf 11 - Alternatívne vyhodnotenie vlhkosti na medzi plasticity	35
Graf 12 Alternatívne vyhodnotenie penetrácia kužeľa závislej na vlhkosti v logaritmickom merítku .	35
Graf 13 - Výsledne hodnoty vlhkosti na medzi plasticity prevedených skúšok	37